



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## TECHNOLOGIE BROUŠENÍ

MACHINE GRINDING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Vojtěch BESEDA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. Milan KALIVODA

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2011/2012

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Vojtěch Beseda

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Technologie broušení**

v anglickém jazyce:

### **Machine grinding**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Základní charakteristika, vývoj, perspektivy strojního broušení (výhody, nevýhody, produktivita, automatizace). Přehled brousicích procesů (stroje, nástrojové vybavení, procesní kapaliny). Využití ve strojírenských firmách. Ukázková technologie broušení. Posouzení navržené situace.

Cíle bakalářské práce:

Celkový přehled o technologii broušení. Připojení výběrů z databází a katalogů výrobců. Schopnost posoudit konkrétní situaci brousicího procesu.

Seznam odborné literatury:

1. CIHLÁŘOVÁ, Petra, Michael Lars George HILL and Miroslav PÍŠKA. Fundamentals of CNC Machining. [online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://cnc.fme.vutbr.cz>>.
2. KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
3. ŠTULPA, Miloslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. 1. vyd. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
4. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. Miroslav Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.
5. HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing s. r. o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
6. KOČMAN, Karel. Speciální technologie obrábění. 3. vyd. Brno: VUT v Brně, Akademické nakladatelství CERM, 2004. 230 s. ISBN 80-214-2562-8.
7. FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli. 1. vyd. Brno: Dům techniky Brno, 1994. 234 s.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Kalivoda

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 1.11.2011

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan fakulty

## ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá technologií broušení. Teorii broušení je věnována první část. Navazuje část, kde jsou uvedeny výběry brousicích strojů z databází a katalogů výrobců. Na závěr je uvedena ukázka využití brousicího procesu v podmínkách menší strojírenské firmy. Jedná se o broušení vnitřní válcové plochy na součásti charakteru tenkostěnného pouzdra. Řešeno je přizpůsobení upnutí obráběné součásti, seřízení pracovního cyklu a kontrola rozměrové přesnosti dle výkresové dokumentace.

### Klíčová slova

broušení, obrobek, brusivo, nástroj, brousicí stroj

## ABSTRACT

At the beginning of this dissertation an overview of grinding technologies is presented. The following chapter presents a selection of grinding machines from databases and manufacturers' catalogues. At the end, a case study of grinding processes in a small manufacturing company is analysed. It focused on the action of grinding an internal cylindrical area on thin wall housing. The solution is the adaptation of component's attachment, the adjustment of the working cycle and the dimensional control according to drawings.

### Key words

grinding, work piece, abrasive, tool, grinding machine

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BESEDA, Vojtěch. *Technologie broušení*. Brno 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 37 s. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Technologie broušení** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

24. 5. 2012

Datum

Vojtěch Beseda

**PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto Ing. Milanu Kalivodovi z VUT Brno za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat firmě VNP, s.r.o. Dačice za vstřícnou pomoc při řešení praktické části bakalářské práce.

## OBSAH

ABSTRAKT .....	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ .....	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	8
1    PODSTATA BROUŠENÍ A BROUSICÍ NÁSTROJ .....	9
1.1    Zvláštnosti procesu broušení.....	9
1.2    Základní prvky tvoření třísky při broušení.....	12
1.3    Základní druhy přírodních a umělých brousicích materiálů .....	13
1.3.1    Přírodní brousicí materiály .....	14
1.3.2    Syntetické brousicí materiály.....	15
1.4    Brousicí nástroj .....	15
1.5    Opatření a trvanlivost brousicích kotoučů .....	16
1.6    Vyvažování brousicích kotoučů.....	16
1.7    Tepelné jevy při broušení.....	17
1.8    Vznik jisker při broušení.....	18
1.9    Řezné prostředky při broušení .....	19
1.10    Kvalita povrchové vrstvy broušených obrobků.....	20
2    BROUSICÍ STROJE.....	22
2.1    Metody brousicích procesů .....	22
2.2    Druhy brousicích strojů.....	23
2.2.1    Hrotové brusky .....	23
2.2.2    Bezhraté brusky .....	23
2.2.3    Brusky na díry.....	24
2.2.4    Vodorovné rovinné brusky .....	25
2.2.5    Svislé rovinné brusky.....	25
2.2.6    Speciální brusky.....	26
2.3    Příklady vyráběných strojů .....	26
2.4    Modernizace brousicích strojů .....	28
3    PŘÍKLAD POUŽITÍ V PRAXI.....	30
4    DISKUZE .....	34
ZÁVĚR .....	35
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	36
Seznam použitých symbolů a zkratk.....	37

## ÚVOD

Broušení je velmi starý způsob obrábění materiálů. Již v dávné minulosti používal člověk přírodní brusiva k tomu, aby naostřil své pracovní nástroje (sekery, nože, kopí apod.).

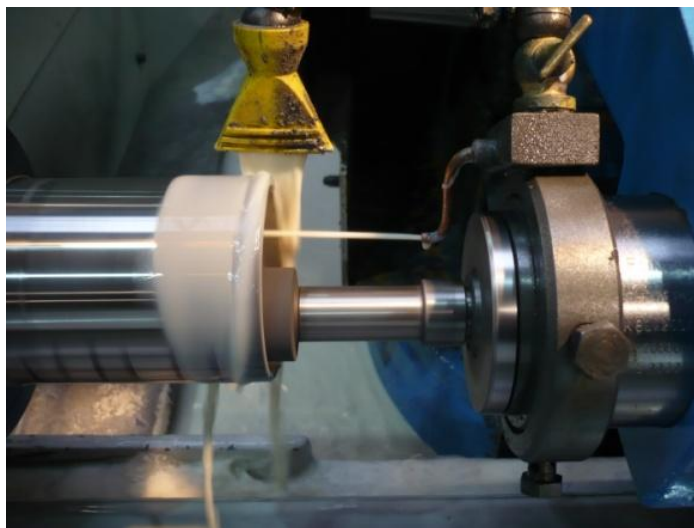
Vývoj broušení se značně urychlil vynálezem umělého brousicího kotouče (r. 1859) a sestrojením prvních univerzálních brousicích strojů (r. 1860). Neustálé zdokonalování brousicích strojů a zlepšování vlastností brousicích kotoučů umožnilo, že se broušení stalo jedním z velmi produktivních způsobů přesného obrábění různých materiálů.

Na tyto skutečnosti navazuje téma bakalářské práce.

Je vysvětlena základní teorie broušení. Mezi hlavní odvětví tohoto procesu patří: zvláštnosti technologie broušení, základní prvky tvoření třísky při broušení, brousicí nástroj, druhy přírodních a umělých brousicích materiálů, opotřebení, trvanlivost a vyvažování brousicích kotoučů, řezné prostředky při broušení a kvalita povrchové vrstvy broušených obrobků.

Další kapitola rozebírá brousicí stroje, a sice z hlediska vhodnosti obrábění tvarových ploch součástí. Dále jsou uvedeny příklady vyráběných brousicích strojů. Kapitola končí popisem modernizace brousicích strojů.

Následuje představení konkrétního brousicího procesu, který je proveden v podmínkách menší strojírenské firmy. Ukázka se zaměřuje na přípravu a seřízení daného procesu a následně na rozměrovou kontrolu obrobených ploch součástí. Tuto kapitolu je nutno chápat jako demonstrativní ukázkou, nejedná se o standardní sériovou výrobu (obr. 0).



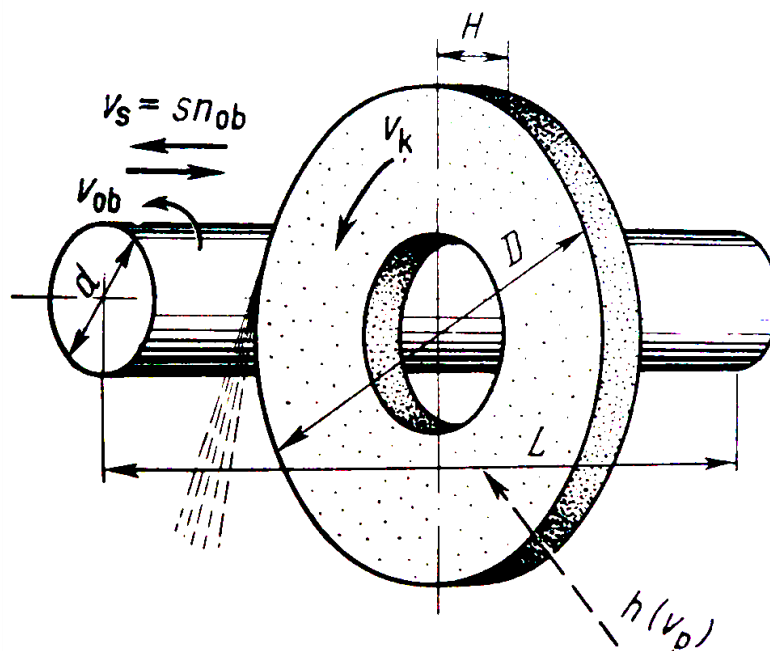
Obr. 0 Ukázka brousicího procesu.



# 1 PODSTATA BROUŠENÍ A BROUSICÍ NÁSTROJ

## 1.1 Zvláštnosti procesu broušení

Broušení je hromadné rychlostní mikrořezání (odírání) povrchových vrstev těles velmi jemnými zrny brusiva, stmelenými pojivem v nástroj; proces probíhá při značných rychlostech, nejčastěji do  $50 \text{ m.s}^{-1}$ , a ve zvláštních případech až do  $100 \text{ m.s}^{-1}$ . Broušením se dosahuje velké přesnosti obrábění. Současně se broušení používá i při předběžném obrábění polotovarů - čištění odlitků, výkovků apod. Základním způsobem broušení je broušení vnějších válcových ploch s posuvem podél osy obrobku (obr. 1). V tomto případě je řeznou dráhou zrna šroubovitá hypocykloidní křivka a řeznou plochu tvoří soubor hypocykloidních šroubovic [1].



Obr. 1 Schéma broušení vnějších válcových ploch s posuvem podél osy obrobku,

kde:

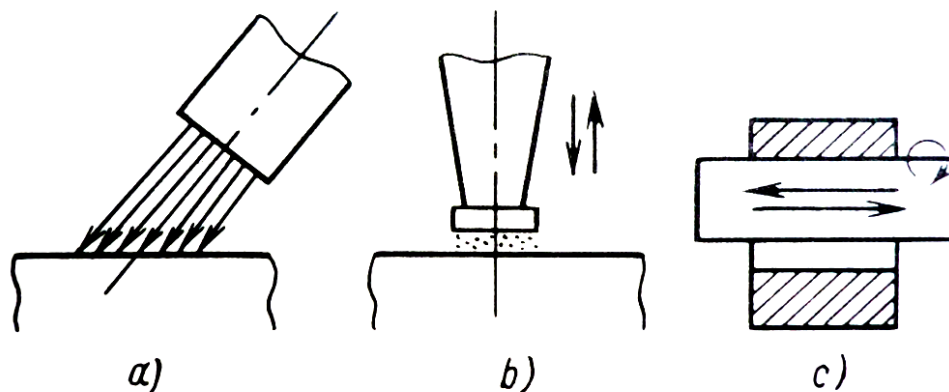
$v_k [\text{m.s}^{-1}]$	-	obvodová rychlost brousicího kotouče,
$v_{ob} [\text{m.min}^{-1}]$	-	obvodová rychlost obrobku,
$v_s [\text{mm.min}^{-1}]$	-	podélný posuv,
$h(v_p) [\text{mm.min}^{-1}]$	-	přísuv,
$D, d [\text{mm}]$	-	průměr brousicího kotouče,
$H [\text{mm}]$	-	šířka brousicího kotouče,
$L [\text{mm}]$	-	délka broušené plochy obrobku [1].

Podle typu brousicího nástroje se rozlišují tyto druhy broušení:

1. vázaným pevným brusivem, což jsou zrna brusiva stmelená pojivem do tvaru kotouče, brousicího tělíska, segmentu, brousicího kamene či nástroje jiného tvaru,

nebo zrna přilepená k pružnému podkladu, kdy řezný nástroj je ve tvaru broušícího pásu,

2. volným brusivem – při využití zrn ve formě prášku pro broušení kapalinou, ultrazvukem nebo jiným podobným způsobem obrábění tvrdých materiálů (obr. 2).



Obr. 2 Základní způsoby broušení volným brusivem: a) proudem brusiva, b) ultrazvukové, c) lapování [1].

Nejčastěji se používá obrábění vázaným brusivem, které může být z korundu, karbidu křemíku, diamantu, kubického nitridu boru a dalších velmi tvrdých látek [1].

Broušení jako metoda obrábění na čisto se vyznačuje:

1. vysokou produktivitou určenou velikostí plochy obrobku, opracované za časovou jednotku; produktivita se ovšem nevyznačuje pouze zvětšováním řezné rychlosti a obráběním velkých ploch, nýbrž i zkracováním doby nezbytné k upnutí a sejmutí obrobku,
2. vysokou přesností obrobených rozměrů v mezích od 2 do 3  $\mu\text{m}$  i méně,
3. velkou geometrickou přesností tvaru obrobených ploch,
4. vysokou kvalitou povrchu – průměrná aritmetická úchylna profilu broušené plochy (v dalším textu jen  $R_a$ ) řádově desetiny  $\mu\text{m}$ ,
5. vysokou kvalitou povrchové vrstvy obrobku s minimálním stavem napjatosti jeho materiálu,
6. možností obrábění velmi tvrdých materiálů (kalené oceli, slinutých karbidů, minerál-keramických materiálů atd.), protože zrna brusiva nástroje jsou velmi tvrdá a tepelně odolná. Tím, že se při broušení odebírá množství velmi jemných třísek z povrchu obrobku při působení malých řezných sil, se dosahuje velmi dobrých vlastností součástí [1].

Mezi jednotlivými způsoby obrábění kovů není zásadní rozdíl, protože vytváření třísek na řezných plochách různými obráběcími nástroji probíhá vždy stejně, nezávisle na konstrukci a tvaru nástroje. Ve všech případech je řezání postupný smyk nebo skluz jednotlivých částic – třísek, způsobovaný klínem, na který působí určitá řezná síla. To zhruba platí i pro broušení kovů [1].

Přesto však má broušení následující zvláštnosti, jimiž se podstatně liší od obrábění kovovým nástrojem:

1. nepravidelné rozmístění velkého počtu malých zrn brusiva na pracovní ploše kotouče,
2. brousicí kotouč nemá souvislý břit,
3. různá výška zrn brusiva u kotouče,
4. určitá závislost mezi tloušťkou a šířkou vrstvy materiálu odebírané jednotlivými zrny brusiva,
5. zrna brusiva mají nepravidelný tvar a zaoblené vrcholy, které obvykle mají záporný úhel čela,
6. řezné elementární částice – zrna – mají velkou tvrdost, tepelnou odolnost, jsou ostrá, křehká a štěpí se v průběhu broušení atd.,
7. velké obvodové rychlosti a malá hloubka řezu každého zrna způsobují prakticky okamžité odebírání obrovského množství třísek za časovou jednotku,
8. každé zrno brusiva působí na broušenou povrchovou vrstvu dynamicky, což zvyšuje místní (okamžitou) teplotu procesu mikrořezání. V souvislosti s tím při odebírání mikrotřísek zrny kotouče nabývají významu i tepelné jevy a síly tření [1].

Celkový počet třísek ubíraných brousícím kotoučem za časovou jednotku je neobyčejně velký. Protože zrna brusiva působí při broušení na povrchovou vrstvu pouze v místě styku kotouče s obráběným materiálem, vznikají zde značné teploty, které ovlivňují průběh broušení a vlastnosti povrchové vrstvy obrobku. V místě působení jednotlivých zrn mohou vzniknout vysoké okamžité teploty, které se často blíží k teplotě tavení obráběného materiálu [1].

Zdrojem tepla vznikajícího při broušení je hlavně práce plastických deformací obráběného materiálu a práce vnějšího tření zrn brusiva a pojiva o povrch materiálu. Třecí síly vzrůstají zvláště při práci s otupeným brousícím kotoučem [1].

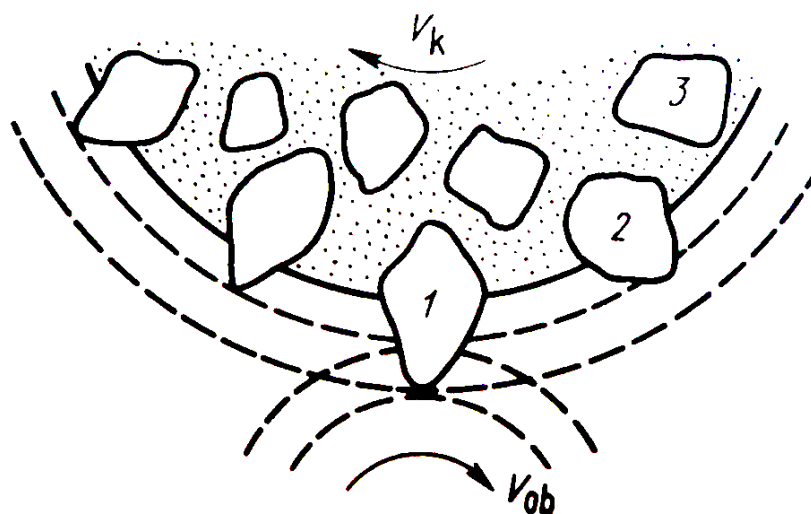
Značná část mechanické práce broušení se spotřebuje na tření a poměr užitečné práce broušení k celkové vynaložené práci je relativně malý. Asi 80% celkové mechanické práce broušení se mění na teplo, zbytek přechází v potenciální energii deformace krystalické mřížky [1].

Při broušení kovových obrobků brousícími kotouči se prudce zvyšuje plasticita kovu v místě působení zrn a to se příznivě projevuje při ubírání třísky zaoblenými zrny kotouče. Povrchová vrstva broušené plochy je souborem mikronerovností, které mají nerovnoměrnou rozteč a relativně velké výškové rozdíly [1].

Na broušení má vliv mnoho faktorů: trvanlivost kotouče, řezná síla,  $R_a$ , okamžitá teplota broušení [1].

Povrch krystalu brusiva má vždy určitou drsnost, kterou způsobuje jeho vnitřní nedokonalost nebo podmínky jeho vzniku. Největší  $R_a$  mají běžné syntetické diamanty [1].

Všechna zrna kotouče nemohou být rovnoměrně zatížena, protože jsou různě vysoká. Kotouč má nedokonalý geometrický tvar (kuželovitost, soudkovitost atd.) a jisté házení. Nejvíce zatížená zrna jsou vystupující nad ideální válcový povrch, zatímco ostatní snižená zrna určitou dobu nepracují (obr. 3). Tato zrna začínají působit pouze po přirozeném opotřebením vyšších zrn nebo po orovnání kotouče [1].



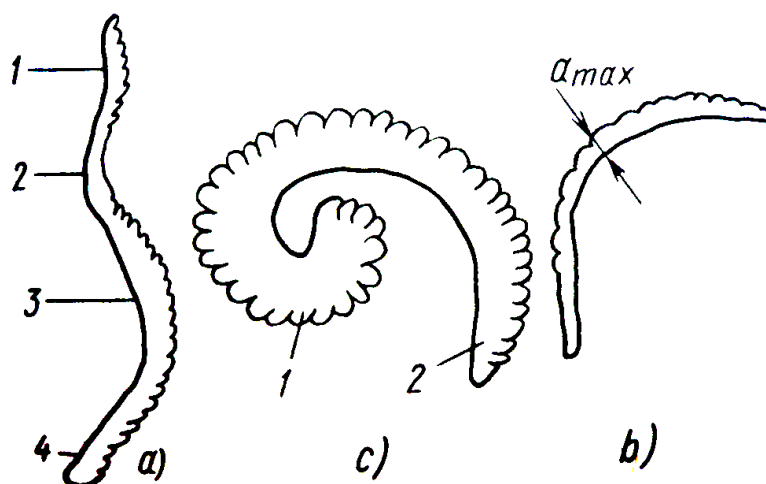
Obr. 3 Zrna brousícího kotouče: 1 – řezná, 2 – tlačná, 3 – pasivní [1].

### 1.2 Základní prvky tvoření třísky při broušení

Pod pojmem tloušťka třísky se rozumí tloušťka materiálu odebíraného jedním brusným zrnem. Je to vzdálenost mezi plochami řezu vytvářenými dvěma následujícími záběry břitů sousedních zrn. Měříme ji ve směru kolmém k ploše řezu. Při broušení vnějších válcových ploch s podélným posuvem je plocha řezu tvořena souborem hypocykloidních šroubovic. Na tloušťce třísky odebírané jedním zrnem brusiva závisí: otupení zrn (trvanlivost kotouče), řezná síla připadající na jedno zрно,  $R_a$ , okamžitá teplota v místě působení zrna apod. Tloušťka třísky ubíraná jedním zrnem má značný vliv na proces broušení, změnu pracovního režimu kotouče a podmínky broušení [1].

Nepravidelné rozložení zrn brusiva na pracovní ploše kotouče způsobuje různou konfiguraci a rozměry třísek vrstev odebíraných jednotlivými zrny. Pro určitý brousící kotouč závisí tvar a rozměry třísek na řezných podmínkách, např. na poměru obvodových rychlostí [1].

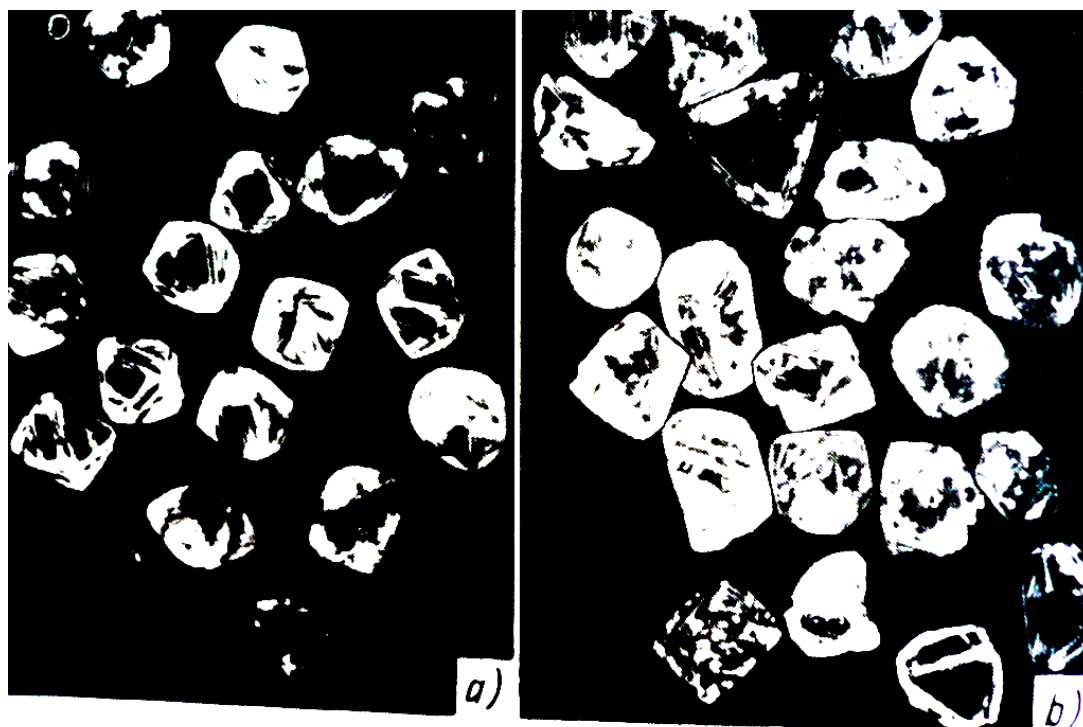
Při broušení jsou nejčastější tři tvary třísek: páskovité, zavínuté, segmentovité (obr. 4). Nejčastější je páskovitá tříska, jejíž tloušťka se postupně zvětšuje v bodech 1, 2, 3, 4 (obr. 4a). Méně často se setkáváme se zavínutou třískou. Při hrubování obrobků z houževnatých ocelí mohou být tyto třísky značně velké (obr. 4b). Za určitých podmínek může vzniknout tříska segmentovitá, která je nejtlustší ve své střední části, tj. na úseku  $a_{max}$  (obr. 4c) [1].



Obr. 4 Typické druhy třísek vznikajících při broušení: a) páskovitá, b) zavinutá, c) segmentovitá [1].

### 1.3 Základní druhy přírodních a umělých brousicích materiálů

Přírodní diamant je modifikací uhlíku krystalické struktury, která obvykle obsahuje nevelké množství příměsí různých chemických prvků. Přírodní diamant se dobývá na rýžovištích nebo v primárních ložiscích. Diamantová naleziště jsou velmi omezená, a přírodní diamanty dobývané z hlubin země nebo z rýžovišť mají různou velikost, tvar (obr. 5) a také barvu a kvalitu [1].

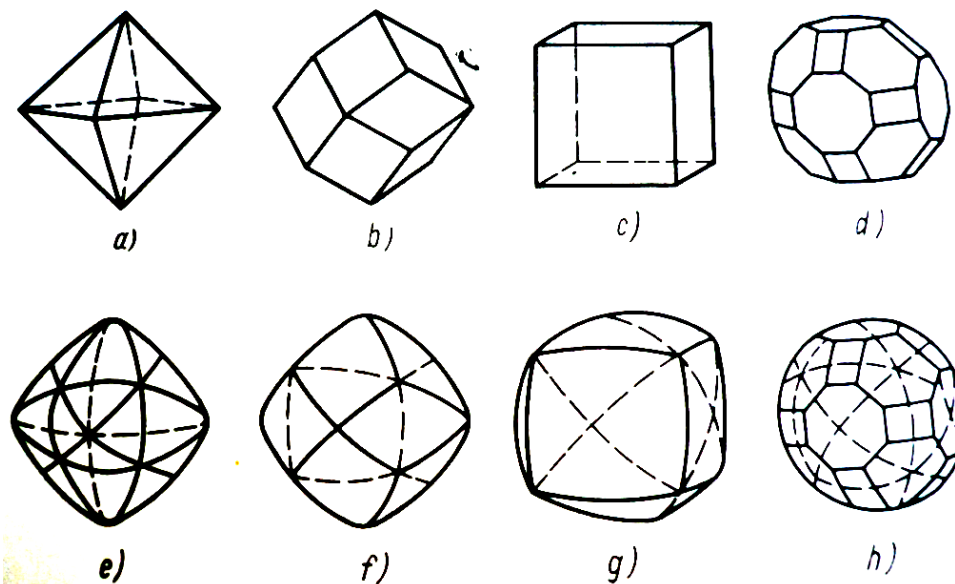


Obr. 5 Různé formy přírodních diamantů: a) celistvé, b) izometrické [1].

Zabarvení diamantů určují příměsi, které jsou v nich obsaženy. Diamanty mají různý geometrický tvar, který se blíží ke geometricky pravidelnému tvaru. Nejčastěji se vyskytují

tyto krystalické tvary: rovnoběžnostěnný osmistěn, kosočtvercový dvanáctistěn, krychle a jejich kombinace; křivostěny – osmi, dvanácti a šestistěny a jejich kombinace (obr. 6) [1].

Různorodost krystalů přírodního diamantu je podmíněna nejenom různou krystalickou formou, ale i různou stavbou stěn tvarem si blízkých krystalů a jejich deformacemi [1].



Obr. 6 Tvar krystalů přírodního diamantu: a) rovnoběžnostěnný osmistěn, b) kosočtvercový dvanáctistěn, c) krychlový, d) kombinovaný s rovinnými stěnami, e) křivostěnný osmistěn, f) křivostěnný dvanáctistěn, g) křivostěnný šestistěn, h) kombinovaný z tvarů: e), f) a g) [1].

Diamant vyniká svou tvrdostí, dobrou tepelnou vodivostí a vysokým modulem pružnosti. Diamant, který je anizotropní krystal, nemá stejné vlastnosti v různých směrech. Např. mikrotvrдость diamantu na stěnách osmistěnu je relativně největší, na stěně kosočtvercového dvanáctistěnu je menší a na stěně krychle je ještě menší [1].

Diamantová zrna začínají oxidovat při teplotě kolem 700°C, a proto je nevhodné používat diamantový nástroj při vyšší teplotě. Zvýší-li se teplota diamantu, jeho měrný elektrický odpor se sníží. Velmi cennou vlastností diamantu je jeho výborná leštitelnost, umožňující získat velmi ostré břity u různých diamantových jedno-krystalových řezných nástrojů (nožů apod.). Poloměry zaoblení břitu těchto diamantových nástrojů mohou mít velikost řádově zlomků mikrometru. K výrobě diamantových brousicích prášků a past se obvykle využívá přírodní diamant nižší kvality [1].

### 1.3.1 Přírodní brousicí materiály

Z přírodních brousicích materiálů se používá korund, smírek a křemen. Korund je minerál skládající se hlavně z krystalického oxidu hlinitého. Je to velmi tvrdý, nepříliš křehký materiál. V přírodě se nachází mnoho druhů korundu. Smírek je minerál na bázi krystalického oxidu hlinitého, obsahující ne více než 60%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Různé vedlejší příměsi snižují v porovnání s korundem jeho brusné vlastnosti. Křemen je minerál, který obsahuje hlavně oxid křemičitý a příměsi dalších materiálů. Přírodní brusiva se úspěšně nahrazují umělými [1].

### 1.3.2 Syntetické brousící materiály

Umělý diamant se získává pomocí katalyzátoru z materiálu obsahujícího uhlík. Jako výchozí materiál se používá pro výrobu umělého diamantu grafit (méně často saze nebo dřevěné uhlí); katalyzátorem může být kov (chrom, nikl, železo, kobalt atd.). Katalyzátor se za vysokého tlaku a teploty taví a atomy uhlíku mění svou hexagonální strukturu charakteristickou pro grafit na krychlovou, která je typická pro diamant. Přitom se mění podstatně vlastnosti materiálu a z měkkého grafitu vzniká velmi tvrdý materiál – diamant [1].

Kubický nitrid boru (KNB) je velmi tvrdý materiál, jehož syntéza se poprvé uskutečnila v r. 1957. Obsahuje 43,6% boru a 56,4% dusíku. Krystalická mřížka KNB se podobá mřížce diamantu, tzn., že má stejnou stavbu, ale obsahuje atomy boru a dusíku. Rozměry krystalické mřížky KNB jsou poněkud větší než u mřížky diamantu. Tím se spolu s nižší valencí atomů, tvořících mřížku KNB, vysvětluje jeho poněkud menší tvrdost v porovnání s diamantem. Velká tvrdost, tepelná odolnost a chemická netečnost k železu předurčují kubický nitrid boru k obrábění různých slitin obsahujících železo. Jeho vlastnosti výrazně snižují adhezni a difúzní opotřebení nástroje v porovnání s diamantem [1].

Umělá brusiva se získávají tavením v pecích. Po vychladnutí se rozbíjejí na kousky, které se v drtičkách drtí na zrno a prášek [1].

Karbid křemíku je sloučenina křemíku s uhlíkem (SiC), která se vyrábí v elektrických pecích za teploty 2100 až 2200 °C. Výchozí surovinou je křemenný písek a látky obsahující uhlík – koks a antracit. Výrobní proces spočívá v křemíkování uhlíkových částic párami kyseliny křemičité [1].

Karbid boru (KB) obsahuje krystalický karbid boru a malé množství příměsí; vyrábí se v elektrických pecích z technické kyseliny borité a uhličitého materiálu s malým obsahem popela ropného koksu [1].

### 1.4 Brousící nástroj

Je to řezný nástroj, který se skládá ze zrn brusiva stmelených v celek pojivem. Může mít tvar kotouče, brousícího tělíska, segmentu, pásu s pružným podkladem atd. [1].

Brousící nástroj charakterizují: geometrický tvar a velikost, druh brusiva, pojivo, zrnitost, tvrdost, struktura a koncentrace brusiva [1].

Diamantový brousící nástroj mívá buď polykrystalickou strukturu, kdy je ve tvaru kotouče, disku, tělíska apod. (tzv. diamantové nástroje prachové), nebo strukturu monokrystalickou (nože, orovnávače atd.) [1]

Diamantový brousící kotouč je nástroj ve tvaru rotačního tělesa určitého tvaru a skládá se nejčastěji z nosné části, na níž je upevněna diamantová vrstva (prstenec) tloušťky 1,5 až 3 mm. Nosné části diamantových kotoučů se vyrábějí z oceli, hliníkových slitin a plastů. Diamantové kotouče malých rozměrů jsou tvořeny pouze vrstvou diamantu. Tvar a umístění diamantové vrstvy brousícího kotouče se volí podle použití nástroje [1].

Pracovní vrstva diamantového kotouče se skládá ze zrn diamantového prášku, pojiva a plniva. Přidá-li se plnivo, zvyšuje se pevnost a zlepšují řezné vlastnosti nástroje. Diamantový kotouč mívá zpravidla vrstvu, která odděluje nosnou část nástroje od vrstvy obsahující diamant. Tato vrstva chrání obráběný povrch před poškozením při úplném spotřebování diamantové vrstvy [1].

Diamantové brousicí kotouče s keramickým pojivem jsou určeny pro ostření nožů s břity ze slinutého karbidu, pro broušení obrobků z tvrdých slitin a kobaltových, vanadových a vanado-kobaltových rychlořezných ocelí. Tyto kotouče mají při dostatečném chlazení velmi dobré řezné vlastnosti, nezanášejí se a zajišťují vysokou kvalitu povrchu obrobené plochy. Při výrobě diamantového brousicího nástroje se též používá jako pojivo elastická pryž [1].

Kotouče s organickým pojivem se skládají z brusiva, pojiva (fenolformaldehydová pryskyřice, bakelitový prášek) a plniva (brusné nebo kovové prášky). Kotouče se podobají diamantovým kotoučům svým konstrukčním provedením, charakteristikou i technologií výroby a používají se při dokončovacích operacích [1].

Koncentrace diamantu v pracovní vrstvě je množství diamantového prášku v 1 mm<sup>3</sup> vrstvy vyjádřené v procentech. Koncentrace určuje produktivitu broušení a trvanlivost diamantového nástroje [1].

### 1.5 Opotřebení a trvanlivost brousících kotoučů

Opotřebení pracovní plochy brousicího kotouče je složitý fyzikálně-chemický proces, jehož průběh závisí na všech podmínkách broušení. Opotřebení kotouče závisí na jeho trvanlivosti podle vztahu (1) [1].

$$U = \frac{C_T}{T_m^m} \quad (1)$$

kde:  $C_T$  [-] - konstanta závislá na podmínkách broušení,  
 $T_m$  [hod.] - trvanlivost kotouče,  
 $m$  [-] - exponent relativní trvanlivosti [1].

Podle vlastností brousících kotoučů (tvrdosti, druhu pojiva, brusiva, rozměr, atd.) a podle řezných podmínek probíhá při broušení buď otupení kotouče, nebo se uplatňuje jeho samoostření [1].

Otupení kotouče nastává v důsledku vylamování nevhodně položených zrn brusiva a jejich postupným štěpením a zaoblováním, takže zrna ztrácejí řezivost [1].

Samoostření brousicího kotouče probíhá v důsledku postupného otupování zrn brusiva, která jsou se vzrůstajícím řezným odporem vylamována (celá nebo jen jejich části) z pojiva. Po vydrolení pojiva pak začínají pracovat nová zrna, proto se pracovní plocha kotouče neustále obnovuje. Tato schopnost obnovování řezné plochy je význačnou specifickou vlastností brousících kotoučů [1].

### 1.6 Vyvažování brousících kotoučů

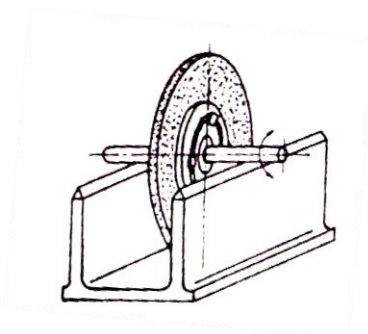
Vyvažování brousicího kotouče spočívá v uspořádání hmoty kotouče tak, aby se jeho těžiště shodovalo s jeho geometrickým středem (osou otáčení). Nevyvážené síly se eliminují vyvážením kotouče. Kotouč pracuje klidně i při vysokých obvodových rychlostech, což je nezbytné k dosažení vysoké přesnosti rozměrů a kvalitního povrchu a ke snížení opotřebení ložisek brousicího vřetena [1].



U nevyváženého kotouče vzniká při vysokých rychlostech setrvačná nevyvážená síla, která působí na vřeteno a jeho ložiska a negativně ovlivňuje soustavu stroj – nástroj – obrobek – přípravek [1].

Při malé šířce brousicího kotouče, kdy jsou rotující hmoty téměř v jedné rovině, stačí jeho statické vyvážení. V tomto případě vytváří těžiště nevyvážené hmoty vzhledem k ose rotace statický moment, který otáčí kotoučem tak, aby těžiště procházela středem otáčení [1].

Statické vyvažování brousicího kotouče se provádí na vyvažovacím stojánku představováním vyvažovacích tělísek v drážkách upínacích přírub (obr. 7) [2].



Obr. 7 Statické vyvažování brousicího kotouče [2].

### 1.7 Tepelné jevy při broušení

V procesu mikrořezání se vytváří v povrchové vrstvě obrobku při broušení velký počet míst s vysokými teplotami, jejichž působením se povrchová vrstva intenzivně zahřívá. Tepelný proces v povrchové vrstvě obrobku se vyznačuje vysokou rychlostí místního ohřevu, krátkou prodlevou na této teplotě a rychlým ochlazením (zvláště při použití řezné kapaliny) [1].

Téměř veškerá mechanická práce v procesu mikrořezání přechází při broušení v teplo a pouze její zanedbatelná část (desetiny procenta) se spotřebuje na přeměnu krystalické mřížky obráběného materiálu [1].

Vzniklé teplo přechází do obrobku, kotouče, třísky a řezné kapaliny. Největší množství tepla (až 80%) přechází při broušení do obrobku, nejmenší část tepla se ztrácí vyzařováním do okolního prostředí. Vysoké teploty broušení mohou způsobit defekty povrchové vrstvy obrobku a obrobek se znehodnotí. Proto se tepelný vliv stává jedním ze základních činitelů broušení [1].

O vysokých okamžitých teplotách, které vznikají při broušení materiálů s vysokou pevností, svědčí proud jisker, vznikajících dokonce i při dostatečném množství řezné kapaliny. Tyto teploty zvyšují plastičnost obráběného kovu, a tím příznivě ovlivňují odeírání třísek v procesu mikrořezání [1].

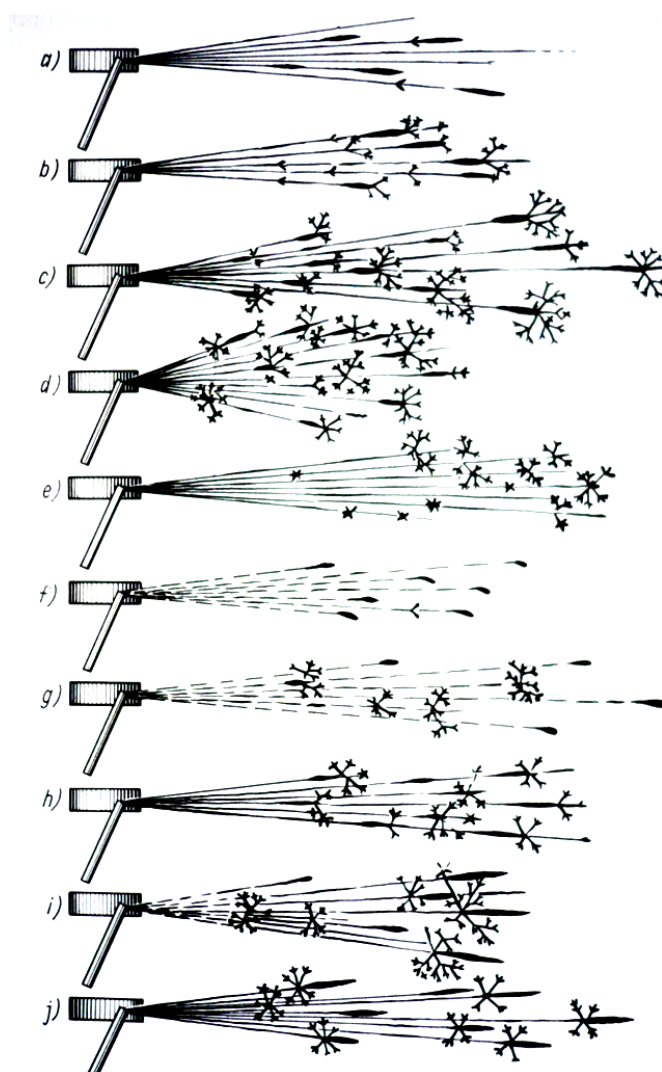
Vznik a rozdělení tepla při broušení závisí na všech podmínkách broušení: na typu kotouče, řezných podmínkách, mechanických a fyzikálních vlastnostech obráběného materiálu, vlastnostech řezné kapaliny atd. [1].

### 1.8 Vznik jisker při broušení

Jiskry, které vznikají při broušení kovů s vysokou pevností, jsou velmi drobné roztavené částice kovů, odletující ve směru tečny k obvodu rotujícího kotouče v místě jeho styku s obrobkem. Tříska nebo roztavené částice kovu odletují působením odstředivé síly [1].

Obsahuje-li broušený kov uhlík, je styk rozžhavených částic se vzduchem provázen oxidací, přičemž se uhlík spaluje na oxid uhličitý ( $C + O_2 = CO_2$ ) za vzniku jisker. Postavíme-li jiskrák do cesty skleněnou destičku, pokryje se drobnými částicemi kovu, jejichž část pevně přilne k povrchu destičky. Větší třísky, které nedosahují teploty tavení, si zachovávají svůj původní tvar, nebo se roztavují pouze částečně. Délka dráhy jiskry je různá a závisí na hmotnosti třísky (větší třísky odlétají dále) [1].

Barva a tvar jisker (struktura paprsků) jsou dány hlavně chemickým složením broušeného materiálu; toho se využívá k určování druhu oceli podle jisker (obr. 8) vznikajících při broušení [1].



Obr. 8 Druhy jisker při broušení různých ocelí: a) měkká uhlíková, 0,12% C, barva slámově žlutá, b) uhlíková, 0,5% C, barva světle žlutá, c) uhlíková, 0,9% C, barva jasně žlutá, d) uhlíková, 1,2 – 1,4% C, barva bílá, e) manganová tvrdá, 13% Mn, barva tmavě žlutá až červená zářivá, f) rychlořezná, barva tmavě červená, g) wolframová, barva tmavě červená, h) křemíková, barva světle žlutá, i) chromová, barva podle obsahu uhlíku, j) chromniklová, barva žlutá [1].

### 1.9 Řezné prostředky při broušení

Při broušení se používají různé řezné prostředky s chladicím a mazacím účinkem v pevném, kapalném i plynném stavu. Mají různé složení a fyzikálně-chemické vlastnosti a podstatně ovlivňují produktivitu broušení a kvalitu broušené plochy [1].

Jako pevné řezné prostředky se používají polymerní, lehce tavitelné, chemicky aktivní vrstvy tuhé pasty nanášené na brusný kotouč nebo obrobek. Někdy se používají plynné řezné prostředky, především aerosoly, což jsou rozprašené řezné kapaliny [1].

Nejčastěji se však používají řezné kapaliny. Mají chladicí, mazací, řezný a čistící účinek. Od řezné kapaliny se vyžaduje:

1. chladicí a mazací účinek, usnadňování odvodu třísek; tyto činitele přispívají ke zlepšení kvality broušené plochy a zvyšují produktivitu broušení,
2. antikorozní účinek, projevující se ochranou obrobku a brusky před korozí,
3. chemická a fyzikální stálost,
4. musí být netoxická, baktericidní a hygienická; nesmí obsahovat škodlivé látky a zapáchat,
5. bezpečnost před požárem a explozí,
6. příznivý vliv na sedimentaci odpadu broušení, aby nedocházelo k jeho opakovanému oběhu. Kapalina má mít optimálně aktivní účinek pro určitý obráběný materiál a zvolené řezné podmínky [1].

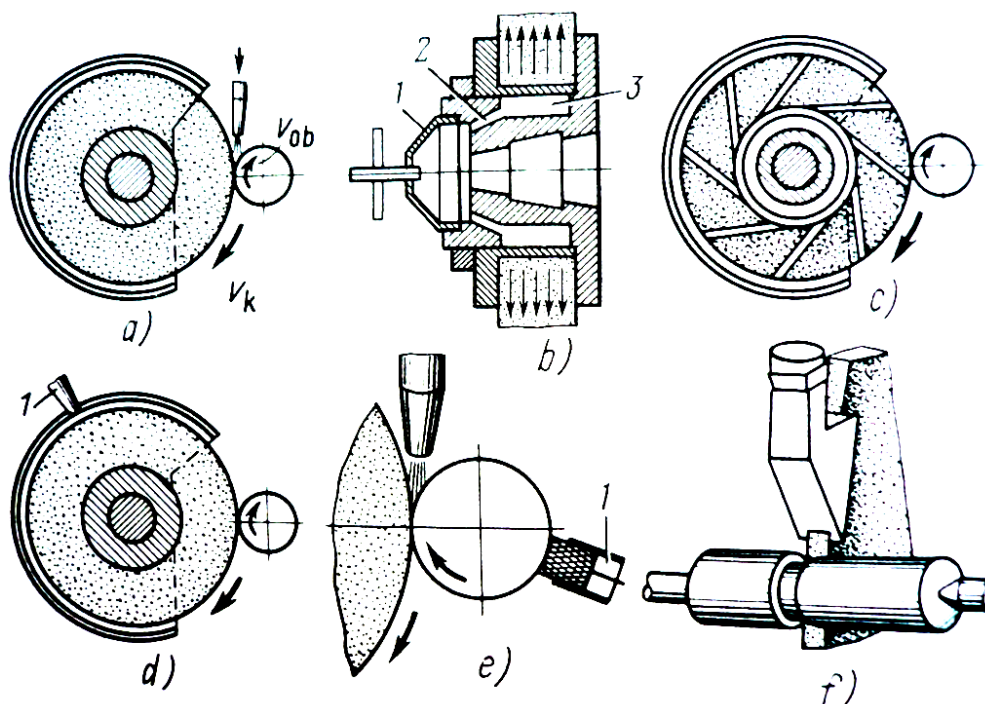
Základním účinkem řezné kapaliny je chladicí účinek. Má dobře chladit celý obrobek v oblasti broušení, snižovat tření a odstraňovat odpad broušení, čímž se zlepšuje kvalita broušené plochy, stoupá trvanlivost kotouče i produktivita broušení. Řezná kapalina nejvíce působí na povrchovou vrstvu obrobku, kde v důsledku působení zrn brusiva při vysokých rychlostech vzniká velký počet ohnisek s vysokou teplotou. Řezná kapalina vytváří příznivější podmínky pro činnost zrna brusiva a omezuje vznik hlubokých (nepravidelných) povrchových rýh tím, že očišťuje oblast broušení a kotouč od drobných kovových třísek a jiných odpadů (úlomky brusiva, pojiva). Řezná kapalina však zřejmě neproniká do místa záběru zrn, a proto jen málo ovlivňuje okamžité teploty v místě jeho činnosti [1].

Mazací účinek řezné kapaliny se projevuje vytvářením pevného mazacího filmu na třecích plochách zrn brusiva a pojiva kotouče, čímž klesá součinitel tření a tedy i třecí síly, neboť se přerušuje přímý styk třecích částic. Přílišné množství mazacích látek v řezné kapalině není však žádoucí, protože se zanáší kotouč a narušuje se jeho správná činnost [1].

Podle složení a vlastností se řezné kapaliny, používané při broušení, dělí na emulze a oleje. Emulze obsahují mikroskopické částičky (kapičky) jiné kapaliny; může to být např. směs vody s tukem a zásadou. K spojení základních složek emulze se obvykle používají glykoly nebo jejich étery. Základní emulzí pro broušení bývá voda s přídavkem malého množství speciálních přísad (antikorozních a baktericidních látek, emulgačního činidla). Emulze používané při broušení mají mléčně bílou barvu a dobrý chladicí účinek, ale malý účinek mazací. Velmi jednoduchou emulzí je 3% sodný roztok, používaný při broušení slinutých karbidů diamantovými kotouči s kovovým pojivem apod. [1].

Řezné oleje pro broušení se skládají z minerálního oleje s tukovými a chemicky aktivními přísadami, podporujícími stálost kapaliny při vysokých teplotách a tlacích. Nejaktivnější přísady jsou látky obsahující síru [1].

Řeznou kapalinu lze do zóny broušení přivádět různými způsoby (obr. 9). Nejčastěji je to jednoduché polévání podle obr. 9a. Proud přiváděné chladicí kapaliny má být vydatný a nepřerušovaný. Šířka proudu chladicí kapaliny nemá být menší než šířka kotouče [1].



Obr. 9 Způsoby přivádění procesní kapaliny do zóny broušení: a) volně padající proud, b) póry brousícího kotouče (1 – nástavec přívodu kapaliny, 2 – spojovací kanály, 3 – prostor shromažďování kapaliny), c) pomocí otvorů v brousícím kotouči, d) mimo zónu broušení (1 – tryska přívodu kapaliny), e) kombinovaný využívající volně padajícího proudu a nanášení na povrch obrobku (1 – zařízení pro nanášení tenké vrstvy povrchově aktivního řezného prostředku), f) s použitím ochranného krytu (při rychlostním broušení) [1].

### 1.10 Kvalita povrchové vrstvy broušených obrobků

Pro spolehlivou funkci strojních součástí má velký význam  $R_a$  charakterizovaná mikronerovností, a kvalita povrchové vrstvy charakterizovaná jejím stavem (struktura, zbytkové pnutí atd.) [1].

Na  $R_a$  obrobku závisí hlavně počáteční opotřebení součásti a kvalita povrchové vrstvy má zase vliv na opotřebení během provozu. Vytváření mikrogeometrie a kvality povrchové vrstvy je složitý fyzikální proces, při kterém na sebe vzájemně chemicky a mechanicky působí všechny zúčastněné materiály. V tomto procesu lze mnohé jevy vysvětlit průnikem drah trajektorií pohybu zrn brusiva kotouče s broušenou plochou obrobku [1].

Broušená plocha získá určitou ustálenou  $R_a$  po velkém počtu průchodů brousícího kotouče s daným úsekem obrobku. Tato ustálená  $R_a$  závisí na geometrických parametrech a vlastnostech zrna, stupni plastické deformace a chvění technologické soustavy [1].

Velký význam má také kromě  $R_a$  broušeného povrchu i jeho vlnitost, což je souhrn periodických a neperiodických výstupků a prohlubenin. Tvoření vln při broušení na čisto je

nejvíce ovlivněno pracovními pohyby obrobku, brousicího vřeteníku, kotouče a jeho tvarovou úchylkou. Značný vliv má i poměr obvodových rychlostí brousicího kotouče a obrobku, jejich velikost, počet záběrů kotouče a fázový posun vln při dalších průchodech kotouče [1].

Zvětší-li se v jistém intervalu obvodová rychlost brousicího kotouče, zintenzivní se chvění technologické soustavy, čímž se omezuje možnost snižovat velikost vlnitosti [1].

Broušení diamantem podstatně zlepšuje kvalitu broušení, neboť tloušťky třísek odebíraných zrnem brusiva, síly a teploty jsou v porovnání s běžným broušením nižší. Je-li broušený materiál tvrdší,  $R_a$  se snižuje, protože zrna diamantu pronikají méně hluboko do obráběného materiálu. Adheze a difúze vždy zvyšuje  $R_a$ , což se nejvíce projevuje při broušení ocelí diamantem za obtížných řezných podmínek [1].

Tvoření mikronerovností broušeného povrchu ovlivňuje pojivo. Diamantové kotouče s pojivem z umělé pryskyřice se vyznačují vyšší kvalitou obrobeného povrchu po broušení než kotouče s kovovým a keramickým pojivem [1].

## 2 BROUSICÍ STROJE

Brousicí pohyb u brousicích strojů provádí nástroj. Při této operaci se brousicí kotouč stýká s obrobkem, a to buď svým obvodem, nebo čelem. Brousicí stroje pracují s malými pořezy třísek a velkými rychlostmi. Při interakci kotouče s materiálem dochází k úbytku jak materiálu obrobku, tak brusného kotouče. Podle konstrukční koncepce rozdělujeme brousicí stroje do několika skupin (tab.1).

Tab. 1. Rozdělení brousicích strojů dle jejich konstrukční koncepce [3].

Vnější	Vnitřní	Univerzální	Multifunkční	Jiné
Hrotové	Otvorové	Vodorovné	Vodorovné	Nástrojové
Bezhruté		Svislé	Svislé	Na ozubení
Rovinné				Dvoukotoučové
Profilové				

Multifunkční brousicí stroje jsou specifické tím, že mohou pracovat ve více rovinách. První typy těchto strojů byly představeny na evropské výstavě strojů EWA v Bruselu v roce 1965. Byly to stroje typu NC na hrotových bruskách, které měly první praktické využití hardwarové číslicové řídicí techniky. Po nástupu softwarových řídicích systémů typu CNC docházelo k rychlému rozšíření na všechny druhy brousicích strojů. Rozšíření CNC řízení u brousicích strojů bylo dáno i zvýšením spolehlivosti a zejména zjednodušením programování a tím i jeho zpřístupněním pro běžnou obsluhu [4].

### 2.1 Metody brousicích procesů

Brousicí proces se uskutečňuje různými metodami, které se definují pro vhodná kritéria. Příslušné technologické charakteristiky se k těmto metodám vztahují. Podle tvaru obrobeného povrchu a způsobu jeho vytváření se rozlišují:

- rovinné broušení (výsledkem je rovinná plocha),
- broušení do kulata (výsledkem je rotační pohyb),
- broušení na otáčivém stole (broušení s rotačním posuvem),
- tvarovací broušení (broušení závitů, ozubených kol, apod.),
- kopírovací broušení (broušení s řízenou změnou posuvu, NC stroje),
- broušení tvarovými brousicími kotouči (profil brousicího kotouče určuje konečný profil obrobku) [2].

Podle aktivní části brousicího kotouče se specifikuje:

- obvodové broušení (broušení obvodem kotouče),
- čelní broušení (broušení čelem kotouče kolmým k jeho ose) [2].

Podle vzájemné polohy brousicího kotouče a obrobku se charakterizuje:

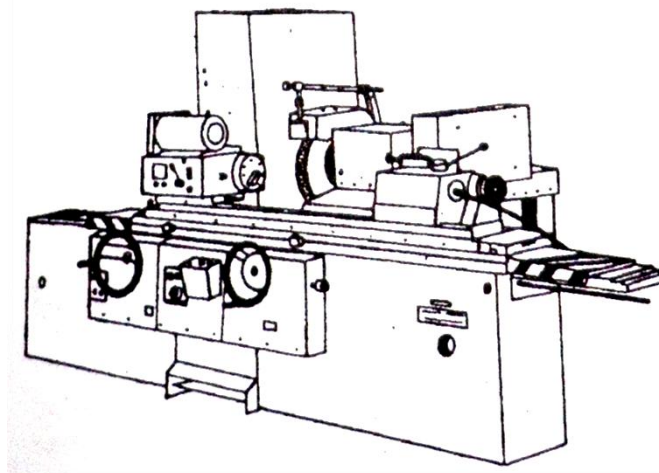
- vnější broušení (broušení vnějšího povrchu obrobku),
- vnitřní broušení (broušení vnitřního povrchu obrobku) [2].

## 2.2 Druhy brousicích strojů

Brousicí stroje jsou vyráběny a dodávány v širokém sortimentu druhů a použití. Dále jsou uvedeny konstrukčně technologické charakteristiky vybraných druhů brusek [2].

### 2.2.1 Hrotové brusky

Hrotové brusky se využívají k broušení rotačních ploch na obrobcích upnutých mezi hroty. Nejrozšířenějším provedením jsou univerzální hrotové brusky, používané pro broušení válcových, kuželových a čelních ploch a případně pro broušení děr (obr. 10) [2].



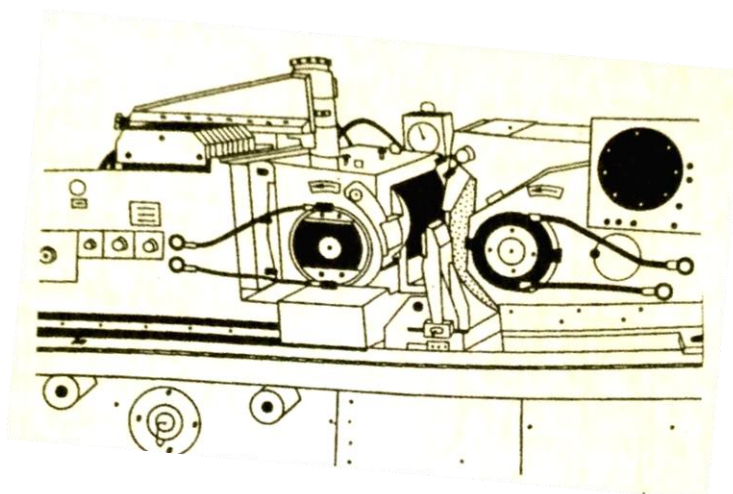
Obr. 10 Univerzální hrotová bruska [2].

Na zadní straně části stojanu je otočně uložen brousicí vřeteník, což umožňuje broušení strmých kuželů. Proti vřeteníku je na stojanu umístěno lože, po jehož vedení se v podélném směru pohybuje stůl s pracovním vřeteníkem a koníkem. Horní část stolu je možno natáčet, což se využívá při broušení táhlých kuželů [2].

### 2.2.2 Bezhruté brusky

U bezhrotých brusek odpadá upínání obrobku. Jsou konstruovány nejčastěji pro vnější broušení, ale také v menším rozsahu pro vnitřní broušení rotačních ploch. Bezhruté brusky pro broušení vnějších ploch umožňují zápichové i průběžné broušení. Mají dva vřeteníky. Brousicí vřeteník, na jehož vřetenu je brousicí kotouč a vřeteník podávacího kotouče (obr. 11) [2].



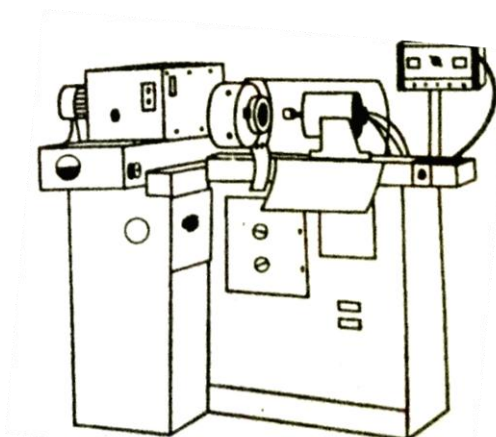


Obr. 11 Bezhrotá bruska pro vnější broušení [2].

Každý vřeteník má vlastní náhon, brousicí vřeteno má konstantní otáčky, vřeteno podávacího kotouče má otáčky měnitelné. Podávací vřeteník lze přestavovat po vedení lože a nastavit tak požadovaný průměr broušení. Natáčením podávacího vřeteníku se nastavuje mimoběžnost os obou kotoučů pro vyvození axiálního pohybu obrobku při průběžném broušení. Bezhroté brusky se využívají obvykle v sériové výrobě, kde mohou pracovat v automatickém pracovním cyklu [2].

### 2.2.3 Brusky na díry

Brusky na díry jsou vyráběny a dodávány jako sklíčidlové, planetové a bezhroté. Významným představitelem těchto strojů je sklíčidlová bruska na díry (obr. 12) [2].



Obr. 12 Sklíčidlová bruska na díry [2].

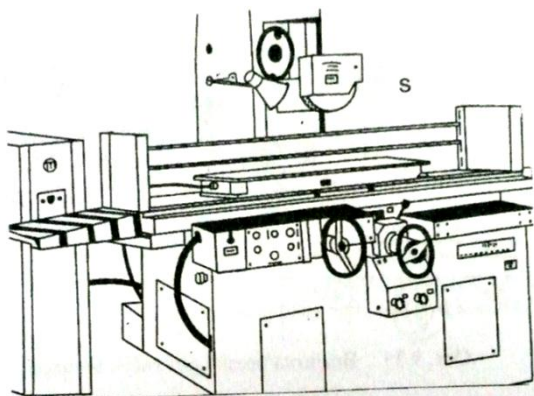
Obrobek se upíná do sklíčidla pracovního vřeteníku uloženého na příčných saních, které umožní nastavení obrobku proti brousicímu kotouči na požadovaný průměr. Brousicí vřeteno má vlastní elektromotor a vykonává axiální posuvový pohyb. U větších brusek je pracovní vřeteník umístěn na podélném stole, který umožňuje axiální posuv obrobku vzhledem k brousicímu kotouči. Brousicí vřeteník je v tomto případě uložen na příčných saních a vykonává pohyb v radiálním směru [2].



#### 2.2.4 Vodorovné rovinné brusky

Jsou určeny pro broušení rovinných ploch a jsou charakterizovány vodorovnou osou brousícího vřeten. Obrobky se nejčastěji upínají na elektromagnetickou desku umístěnou na pracovním stole. Pracovní stůl vykonává přímočarý vratný nebo otáčivý pohyb [2].

Nejrozšířenějším představitelem rovinných brusek jsou brusky s přímočarým vratným pohybem (obr. 13) [2].



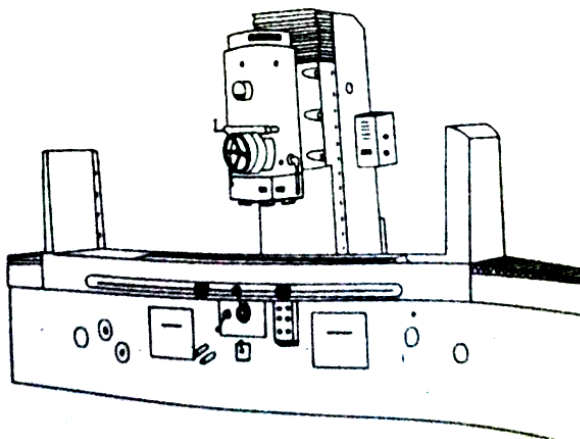
Obr. 13 Vodorovná rovinná bruska s přímočarým vratným pohybem stolu [2].

Používají se v kusové a malosériové výrobě s vyššími požadavky na přesnost broušených ploch. Brousící vřeteník je svisle přestavitelný. Na stojanu stroje je vedení pro příčné saně, na kterých se v podélném směru pohybuje stůl. Rychlost stolu je možné plynule měnit. Velikost stroje je charakterizována šířkou pracovního stolu [2].

#### 2.2.5 Svislé rovinné brusky

Tyto brusky jsou charakterizovány svislou osou brousícího vřeten a vysokými výkony broušení, avšak horšími parametry přesnosti broušené plochy [2].

Typickým představitelem těchto strojů je svislá rovinná bruska s přímočarým vratným pohybem stolu (obr. 14) [2].



Obr. 14 Svislá rovinná bruska s přímočarým pohybem stolu [2].

Brousicí vřeteník je posuvný po stojanu. Pracovní stůl uskutečňuje pouze přímočarý vratný pohyb, takže průměr broušícího kotouče musí být větší, než je šířka broušené plochy. Brousicí kotouč je zpravidla segmentový. Jakost obroušené plochy je horší než při broušení na vodorovných rovinných bruskách. Obrobky se obvykle upínají na magnetickou desku, umístěnou na pracovním stole [2].

### 2.2.6 Speciální brusky

Do této skupiny se zařazují brusky se speciálním technologickým zaměřením. Patří sem brusky na ostření nástrojů, brusky pro broušení závitů, brusky na broušení ozubení, brusky pro broušení klikových hřídelů, brusky na broušení vačkových hřídelů apod. [2].

## 2.3 Příklady vyráběných strojů

Ze světové a tuzemské produkce jsou pro potřebu bakalářské práce vybrány 3 firmy s ukázkami konkrétních typů brousicích strojů. Jedná se o firmy Okamoto, Junker a TOS Čelákovice.

### Firma Okamoto

Rovinná bruska s křížovým stolem a portálová bruska jsou znázorněny na obr. 15 a obr. 16.



Obr. 15 Rovinná bruska s křížovým stolem ACC42SA-iQ [7].



Obr. 16 Portálová bruska ACC158CH-iQ [7].

### **Firma Junker**

Univerzální brousicí centrum je zobrazeno na obr. 17.



Obr. 17 Univerzální brousicí centrum JUSTAR [8].

### **Firma TOS Čelákovice**

Hrotové brusky BUC 85 C Profi a BUB 50 B Multi jsou znázorněny na obr. 18 a obr. 19.



Obr. 18 Hrotová bruska BUC 85 C Profi [9].



Obr. 19 Hrotová bruska BUB 50 B Multi [10].

Ostatní firmy pouze jmenuji, jedná se o firmy: Saacke, Hauser, Agathon, Reisnecker, Walter, Schütte a další.

#### 2.4 Modernizace brousicích strojů

Každý stroj je před vlastní generální opravou a modernizací demontován a očištěn. Následuje kontrola jednotlivých dílů se zvláštním zřetelem na možné poškození odlitků. Pro samotnou modernizaci jsou použity pouze odlitky loží, koníků a vřeteníků původního stroje [5].

Vnitřní plochy brusky se opatřují antikoročním nátěrem, který je vzdorný vůči oleji. Vnější plochy se vytmelí, přebrousí a opatří polyuretanovým nátěrem [5].

U loží se provádí přefrézování (obráz. 20) s následným zaškrabáním dle protokolu přesnosti s použitím přesných tuširovacích šablon pro jednotlivá vedení. Spodní i vrchní stůl se přebrousí na speciálních bruskách [5].



Obr. 20 Přefrézování lože brousicího stroje [5].

Dále se provádí kompletní oprava pracovního vřeteníku, zahrnující výměnu vřetene s vysoce přesnými párovanými ložisky, výměna ozubených kol a dalších dílců. Vykoná se montáž pracovního vřeteníku dle schválené dokumentace a ověřených montážních postupů s použitím speciálních přípravků. Závěrem je proveden záběh vřeteníku podle předepsaného režimu [5].

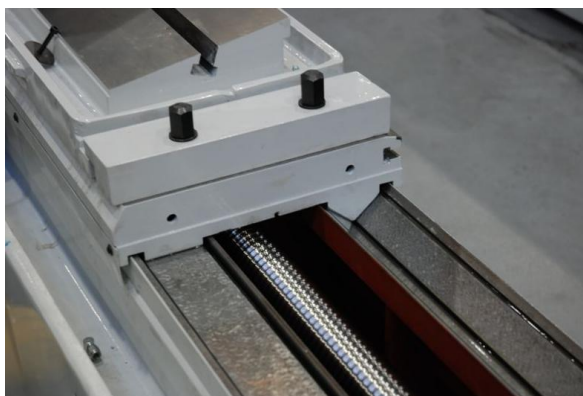
U koníku se uskuteční přebroušení pinoly s následným nanesením tvrdo-chromového povlaku a přebroušením na přesnost. Podle aktuálních hodnot se protáčí těleso koníku. Původní hydraulické ovládání koníku je u modernizované verze nahrazováno za pneumatické ovládání [5].

Modernizace brousicích strojů pokračuje kompletní výměnou mazacího systému stroje včetně nových rozvodů, rozdělovačů a mazacího agregátu (obr. 21). Mazací systém je doplněn o tlakové spínače kontrolující dodávku maziva do jednotlivých mazaných míst brousicího stroje [5].



Obr. 21 Mazací agregát [5].

Hydraulický agregát je při modernizaci odstraněn a veškerý hydraulický systém nahrazen kuličkovým šroubem (obr. 22). Původní problematické tlakové spínače, rozvaděče a čerpadla jsou vyměněna za nová. Oprava hydraulického válce obsahuje výměnu všech těsnících manžet, pístních tyčí a odvzdušňovací kostky. Závěrem je provedeno ověření jednotlivých parametrů a funkcí [5].



Obr. 22 Kuličkový šroub [5].



### 3 PŘÍKLAD POUŽITÍ V PRAXI

Pro příklad použití ve strojírenské praxi byla navštívena firma nedaleko bydliště autora. Jedná se o společnost VNP, s. r. o. Vznikla v roce 1996 oddělením nástrojárny ze strojírenské firmy TRW-DAS Dačice. Hlavním předmětem její činnosti je kusová výroba, výroba speciálních přípravků, nástrojů a měřidel nebo výroba částí forem. Technologickou základnu pro výrobu tvoří 4 CNC soustruhy, 4 CNC obráběcí centra a obráběcí stroje (frézky, vrtačky, brusky, kalící pece). VNP, s. r. o. je držitelem certifikátu systému jakosti dle ISO 9001:2008 [6].

V hale, kde jsou umístěny brusky, se provádějí následující operace: broušení obvodové, rovinné a tvarové broušení. Pozornost byla zaměřena na broušení obvodové neboli do kulata. U této metody je ve firmě k dispozici novější brousicí stroj pod označením CNC BUA 25 (obr. 23).



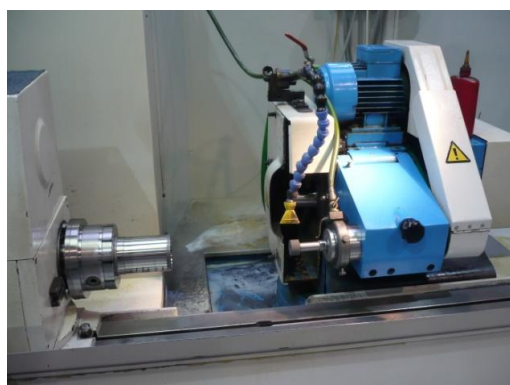
Obr. 23 Brousicí stroj CNC BUA 25.

Univerzální hrotová bruska BUA 25 s elektronicky řízeným přísuvem je určena pro broušení válcových a kuželových ploch vnějších a se zvláštním příslušenstvím pro broušení válcových a kuželových ploch vnitřních, podélným nebo zapichovacím způsobem. Umožňuje i broušení čel obrobků, buď čelní plochou brousicího kotouče nebo jeho obvodem při upnutí součásti letmo a natočení unášecího vřeteníku o 90°.

Na obr. 24 je ovládací panel brousicího stroje. Obsahuje monitor a klávesnici, pomocí níž lze vytvořit konkrétní řídicí program. Dále je na obr. 25 vyobrazen pracovní prostor stroje, kde probíhá brousicí proces.



Obr. 24 Ovládací panel brousicího stroje.



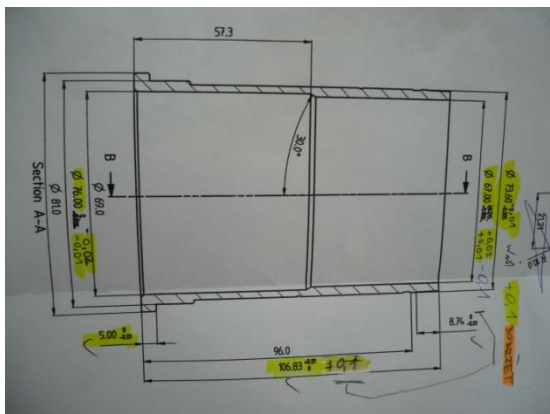
Obr. 25 Pracovní (obráběcí) část stroje.

Obr. 26 zachycuje část zařízení broušicího stroje, kde dochází k recyklaci procesní kapaliny. Kapalina sem přichází z místa broušení. Přitékají společně s ní zrnka brusiva a třísky broušeného obrobku. Procesní kapalina se musí těchto částí zbavit. Proces je klasická recyklace, díky které se může kapalina znovu přivádět do místa broušení. Kapalina protéká přes odkalovací kanály, zde dochází k usazení zrn brusiva. Obráběný materiál je následně zachycován magnetickými válci.

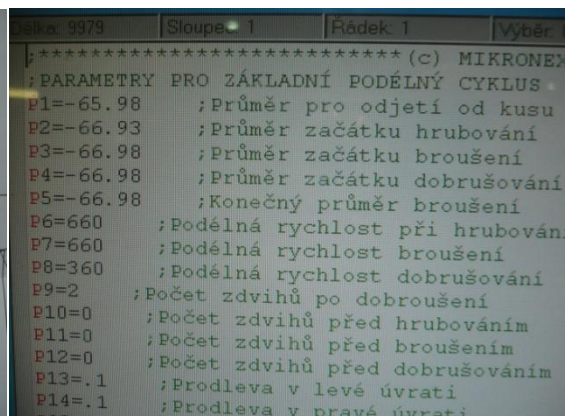


Obr. 26 Zbavování nečistot v procesní kapalině.

Během přítomnosti u zmíněného stroje se obráběla součást dle výkresu (obr. 27). Jedná se o tenkostěnnou trubku s různými osazeními. Rozměry s příslušnými tolerancemi, které jsou zvýrazněny žlutou barvou na výrobním výkresu, se budou brousit. Část řídicího programu pro základní podélný cyklus k výrobě zadané součásti je znázorněna na obr. 28. Tento snímek z ovládacího panelu broušicího stroje udává hodnoty pro vykonání požadovaného rozměru dle výkresu součásti.

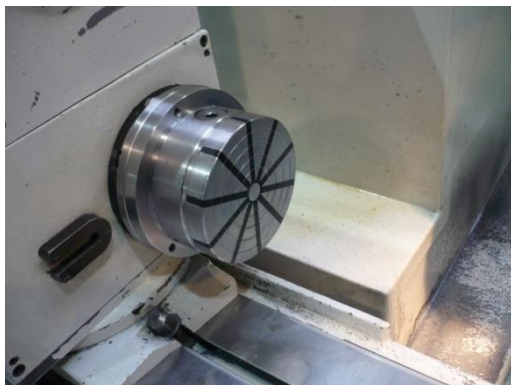


Obr. 27 Výkres součásti.

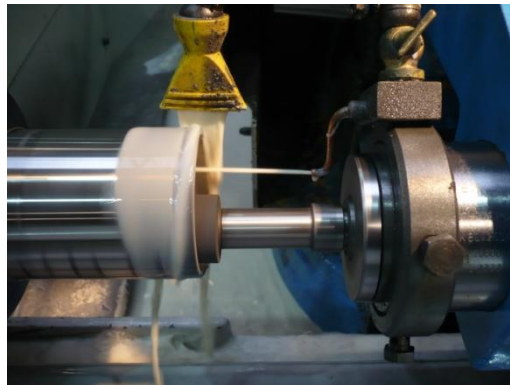


Obr. 28 Snímek parametrů pro podélný cyklus.

Obrobek se upínal pomocí magnetické desky (obr. 29). Styková plocha zadané součásti byla však příliš malá. Pomocí přídavného materiálu vlepeného do součásti se tato plocha podstatně zvětšila.



Obr. 29 Magnetická deska.



Obr. 30 Brousicí proces daného obrobku.

Po upnutí obrobku se spustil brousicí stroj a začal samotný proces broušení. Nástroj přijel k obrobku, spustila se procesní kapalina a stroj prováděl podle řídicího programu brousicí proces (obr. 30). Po vykonání operace nástroj odjel a ukončil se proces obrábění. Následovala kontrola broušené plochy třídotykovým dutinoměrem (obr. 31), je-li hodnota měřeného rozměru v toleranci s předepsanou hodnotou na výrobním výkrese. Vzhledem k tomu, že se jedná o tenkostěnný obrobek, probíhá kontrola geometrické přesnosti. Broušená vnitřní válcová plocha obrobku je znázorněna na obr. 32.



Obr. 31 Kontrola vnitřního průměru.



Obr. 32 Broušená plocha obrobku.

Pro ukázkou dalších součástí obráběných na této univerzální hrotové brusce BUA 25 jsou přiloženy dvě fotografie. Na první je součást s broušenou kuželovou plochou dvou různých materiálů spojených svařováním (obr. 33). Druhý snímek zachycuje broušené průměry šneku řízení u automobilu (obr. 34).





Obr. 33 Součást s kuželovou plochou.



Obr. 34 Broušené průměry šneku řízení.

## 4 DISKUZE

Na základě úvodní části, kde je představena teorie broušení, jsou vytipovány brousicí stroje s konkrétní ukázkou firem (Junker, TOS Čelákovice a Okamoto), další firmy jsou pouze zmíněny.

Na konkrétním brousicím stroji CNC BUA 25 je v prostředí firmy VNP, s. r. o. Dačice sestavena ukázka brousicí operace. Pro ukázkou byla vybrána součást typu tenkostěnného pouzdra, kde se obráběla vnitřní válcová plocha. Realizace této operace byla provedena bezproblémově. Vstupní data se převzala z výkresové dokumentace, poté následovalo seřízení stroje a upnutí součásti pomocí magnetické desky na sklíčidle brousicího stroje. Konečné doladění operace dle řídicího programu proběhlo za spoluúčasti kmenového zaměstnance firmy. Obrobený rozměr na součásti se kontroloval pomocí třídotykového dutinoměru (obr. 35). Naměřený rozměr byl v rozsahu tolerance dle výkresové dokumentace.



Obr. 35 Měření obrobeného rozměru pracovníkem firmy.

Současně se seřizováním brousicí operace byla posuzována možnost výměny či doplňování procesní kapaliny. Vzhledem k omezenému časovému prostoru nešlo doporučit konkrétní stanovisko, tj. definovat interval výměny procesní kapaliny. Dá se předpokládat na základě zkušeností zaměstnanců, že výměna procesní kapaliny v brousicím stroji proběhne cca po pěti týdnech od naplnění.

Během provádění ukázky byla po celou dobu ze strany firmy ochotná spolupráce a technická pomoc od kmenových zaměstnanců.

Jednou z možností, jak získat hlubší poznatky v odboru broušení, je uskutečnění exkurzí ve firmách vyrábějících brousicí stroje.

## ZÁVĚR

Teorie broušení byla představena v rozsahu možností bakalářské práce. Byly představeny vytipované brousicí stroje tuzemské i zahraniční produkce. Dále se uvedl postup modernizace brousicích strojů.

Hlavní záměr bakalářské práce byl realizovat ukázkou konkrétního brousicího procesu v menší strojírenské firmě. Jednalo se o součástku charakteru tenkostěnného pouzdra. V podmínkách firmy proběhla i kontrola obrobeného rozměru součásti a posoudila se její rozměrová přesnost dle dané výkresové dokumentace. Naměřený rozměr souhlasil s požadovanou tolerancí.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

1. MASLOV, J. *Teorie broušení kovů*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1979, 246 s.
2. KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: CERM, 2005, 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
3. Marek, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. 1. vyd. Kuřim, 2006. 281s. ISSN 1212-2572.
4. BORSKÝ, Václav. *Obráběcí stroje*. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1992, 216 s. ISBN 80-214-0470-1.
5. Fermatmachinery. *Popis Go a modernizace brousicích strojů* [online]. [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <<http://www.fermatmachinery.com/cs/607-popis-modernizace-brousicich-stroju/>>.
6. VNP s.r.o. *O firmě* [online]. [cit. 2012-05-03]. Dostupné z: <<http://www.vnp-dacice.cz/cz/index.html>>.
7. Technika a trh. *Okamoto – spolehlivé brusky* [online]. 2012-02-03 [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: <<http://www.technikaatrh.cz/obrabeni/okamoto-spolehlive-brusky>>.
8. JUNKER. *JUSTAR* [online]. [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <<http://www.junker-group.com/grinding/loesungen/schleifmaschinen/justar.php>>.
9. TOS a.s. *Hrotové brusky - BUC 85 C Profi* [online]. [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <[http://www.tosas.cz/index.php?id\\_document=10107](http://www.tosas.cz/index.php?id_document=10107)>.
10. TOS a.s. *Hrotové brusky - BUB 50 B Multi* [online]. [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <[http://www.tosas.cz/index.php?id\\_document=10102&mode=rmenu](http://www.tosas.cz/index.php?id_document=10102&mode=rmenu)>.

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
$Al_2O_3$	[-]	oxid hlinitý
CNC	[-]	Computer Numeric Control
$CO_2$	[-]	oxid uhličitý
KB	[-]	karbid boru
KNB	[-]	kubický nitrid boru
NC	[-]	Numerical Control
SiC	[-]	karbid křemíku

Symbol	Jednotka	Popis
$C_T$	[-]	konstanta závislá na podmínkách broušení
D	[mm]	průměr brousícího kotouče
H	[mm]	šířka brousícího kotouče
L	[mm]	délka broušené plochy obrobku
$R_a$	[ $\mu m$ ]	průměrná aritmetická úchylka profilu broušené plochy
$T_m$	[hod.]	trvanlivost kotouče
$h(v_p)$	[mm.min <sup>-1</sup> ]	přísuv
m	[-]	exponent relativní trvanlivosti
$v_k$	[m.s <sup>-1</sup> ]	obvodová rychlost brousícího kotouče
$v_{ob}$	[m.min <sup>-1</sup> ]	obvodová rychlost obrobku
$v_s$	[mm.min <sup>-1</sup> ]	podélný posuv